

Was Charles Darwin noch nicht wusste

Das Jahr 1859, als Darwins Werk über „Die Entstehung der Arten“ erschien, markiert eine Zäsur in der wissenschaftlichen Wahrnehmung lebender Organismen. Das Buch erregte die Gemüter wie kein anderes und führte zu einer hitzigen öffentlichen Debatte, die sich noch verstärkte, als Darwin 1871 „Die Abstammung des Menschen und die geschlechtliche Zuchtwahl“ veröffentlichte. Die überragende Bedeutung der Abstammungslehre für die gesamte Biologie brachte es mit sich, dass darüber die weiteren Leistungen Darwins als Naturforscher, im Besonderen sein Anteil an der botanischen Forschung häufig etwas in den Hintergrund treten. Dabei hätte allein seine Leistung als Botaniker genügt, ihm einen ehrenvollen Platz unter den Naturforschern zu sichern. In seinem Selbstverständnis war Darwin weder Botaniker noch Zoologe oder Geologe, sondern ein Forscher, der sich für Naturgeschichte interessierte. Darwin war modern, weil er sich nicht damit vergnügte zu beschreiben, was er sah, sondern danach fragte, „Wie“ und „Weshalb“ die Natur so funktionierte, wie er sie beobachtete, und weil er, vor allem in späteren Jahren, zu einem experimentell forschenden Biologen wurde, der seine Hypothesen anhand sorgfältiger Experimente überprüfte. Dabei suchte und fand er Beispiele für die Bestätigung seiner allgemeinen Theorie sowohl bei Tieren als auch bei Pflanzen. Bemerkenswert ist trotzdem, dass sich Darwin bereits im Frühjahr und Sommer 1860, kurz nach dem Erscheinen der „Entstehung der Arten“, intensiv mit Pflanzen beschäftigte. Im Verlauf eines kurzen Sommers machte er drei Beobachtungen, die später zu seinen wichtigsten botanischen Arbeiten führten. Die erste Beobachtung bezog sich auf die unterschiedlichen Blüten von Primeln, die er detailliert untersuchte, was zu der Schlussfolgerung führte, dass sie dazu dienen, Selbstbe-

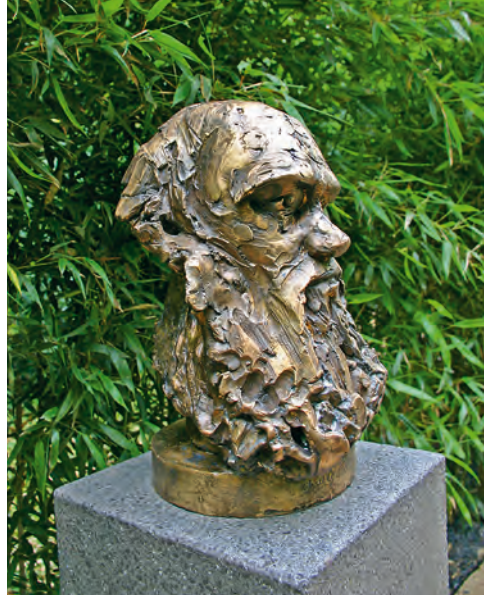


Abb. 1: Charles Darwin, Bronzebüste im Darwinpfad Gießen, Botanischer Garten. Künstlerin: Bärbel Dieckmann, Berlin.

(Fotografie: Alexander Failing, Pressestelle JLU)

stäubung und Inzucht zu verhindern. Darwin war sich klar darüber, dass kontinuierliche Selbstbestäubung zum Verschwinden vererbbarer Variationen führen musste und dadurch Weiterentwicklung, d.h. Evolution, unmöglich würde. In der Folge beschäftigte er sich jahrelang mit den Auswirkungen von Inzucht auf die Überlebensfähigkeit von Pflanzen. Des Weiteren experimentierte er zwischen Mai und Juni 1860 auch mit Orchideen und erkannte, dass der Bau ihrer Blüten dafür angepasst ist, ihre Fremdbestäubung durch Insekten sicherzustellen. Ebenfalls im Sommer 1860 stieß Darwin auf der Suche nach einer seltenen Orchidee, die in Mooren vorkommt, auf den Sonnentau (Drosera). Er erkannte wie dieser mit seinen

Tentakeln Insekten einfängt, um sich Nährstoffe zu verschaffen. Dies weckte sein Interesse an der Sensitivität von Pflanzen. Von nun an begann Darwin auch mit dem Sonnentau zu experimentieren, fütterte ihn mit Fleisch, und benutzte Chloroform, um die Pflanze zu betäuben. Daneben widmete er sich Untersuchungen über die Reizbarkeit und das Bewegungsvermögen der Pflanzen – ebenso pflanzlicher Reproduktionssysteme und der Auswirkungen von Inzucht –, die ihm Einsichten in das allgemeine Wesen von Pflanzen ermöglichten, deren biochemische und molekulargenetische Grundlagen wir zum Teil erst heute verstehen. Eine ganze Reihe seiner kreativsten experimentellen Studien führte Charles Darwin an Pflanzen durch. Diese Arbeiten haben für die Vertiefung und Bestätigung seiner Evolutionstheorie eine wichtige Rolle gespielt und beeinflussen bis heute evolutionsbiologische Studien an Pflanzen.

Charles Robert Darwin (1809–1882)

Die botanischen Hauptwerke

Darwin hatte sich schon in seiner Kindheit für Pflanzen interessiert, und sein Interesse an der Botanik war nie erloschen. Es interessierten ihn in der Botanik vorwiegend dynamische Themen (Bewegung, Karnivorie, Blütenbiologie, Blütendimorphismen, Kreuz- und Selbstbefruchtung). Mit seinen Schriften hat Darwin die Entwicklung der Botanik zu einer einheitlichen Wissenschaft gefördert, die Pflanzenzucht, Physiologie, Ökologie und Blütenbiologie mit der akademischen Systematik verband. In 18 Jahren publizierte er sieben große botanische Werke, die über 2500 Seiten füllten.

1. "On the various contrivances by which British and foreign Orchids are fertilised by insects" (1862)

Darwin beschreibt die vielfältigen Einrichtungen und Anpassungen von Orchideen an die Bestäubung durch Insekten. Er wollte zeigen, dass diese ebenso vielfältig und vollkommen sind wie Anpassungen im Tierreich. Er er-

bringt den Nachweis, dass die Einrichtungen der Orchideen dazu dienen, Fremdbestäubung sicherzustellen. Darwin war sich bewusst, dass zumindest gelegentliche Fremdbestäubung notwendig ist, um Variabilität aufrechtzuerhalten und deshalb eine Voraussetzung für natürliche Selektion darstellt.

2. "On the movements and habits of climbing plants" (1865)

Drei Jahre später publizierte Darwin seine Arbeit über Kletterpflanzen. Motiviert durch einen 1858 erschienenen Artikel des amerikanischen Botanikers Asa Gray (1810–1888) über die Rankenbewegung eines Kürbis, hatte Darwin begonnen, die Gesetzmäßigkeiten der Wachstums- und Drehbewegungen von Kletterpflanzen zu untersuchen. Er interessierte sich besonders für die sensitiven Fähigkeiten von Pflanzen, auf Licht, Schwerkraft oder Berührung zu reagieren. Darwin beschrieb insgesamt vier verschiedene Typen von kletternden Pflanzen. Daneben analysierte er auch die physikalischen Grundlagen der Windenbewegungen und führte sogar später für die kreisenden Suchbewegungen von Ranken die Bezeichnung „Circumnutation“ ein, die in die botanische Terminologie einging.

3. "The variation of animals and plants under domestication" (1868)

Darwin wunderte sich, dass das Gros der Botaniker die Ergebnisse der Pflanzenzüchtung ignorierte, denn gerade Haustierte und Nutzpflanzen bildeten hervorragende Objekte für den Nachweis von Selektion. In diesem zweibändigen Werk über die Variation bei Nutztieren und Pflanzen verzeichnete er Art für Art eine ungeheure Menge an Beobachtungen und Fakten mit dem Ziel, die Ursachen und Gesetzmäßigkeiten der Variabilität und der Veränderbarkeit domestizierter Tiere und Pflanzen zu erhellen. Dabei ging es Darwin darum, sowohl das Ausmaß der vorhandenen Variabilität als auch deren Vererbbarkeit zu dokumentieren. Darwin hatte das Problem, dass der Mechanismus der Vererbung zu seiner Zeit noch völlig im

Dunkeln lag. Er entwickelte in diesem Buch eine Theorie der Vererbung, der Pangenesis, welche davon ausgeht, dass Keimzellen im gesamten Körper entstehen und in den Reproduktionsorganen gesammelt werden. Diese Theorie erwies sich später als falsch.

4. *"Insectivorous plants" (1875)*

1860 beobachtete Charles Darwin erstmals den Insektenfangenden Sonnentau (*Drosera rotundifolia*). Trotz anfänglicher Zweifel begann er eine umfassende Serie von Experimenten. 15 Jahre später veröffentlichte er sein Buch *"Insectivorous plants"*, das bis heute als Grundstein der wissenschaftlichen Karnivorenforschung gilt. In diesem Buch befasst sich Darwin mit den Reaktionen der Pflanze, insbesondere mit ihrem Bewegungsvermögen, der Ausscheidung von Verdauungsenzymen, der Reizleitung und mit Veränderungen der Zellen, die er als „Aggregation“ bezeichnet. Außerdem zeigte er, dass das Phänomen der Karnivorie nicht auf *Drosera* beschränkt ist, sondern eine große Anzahl von Arten in der Lage ist, lebende Tiere zu erbeuten und zu verwerten.

5. *"The effects of cross and self-fertilization in the vegetable kingdom" (1876)*

Gerade mal ein Jahr nach den „Karnivoren“ erschien ein weiteres umfangreiches Werk. In zahlreichen Tabellen auf der Basis kontrollierter Experimente listete er die Ergebnisse seiner Kreuzungsversuche auf, die zeigten, dass Fremdbestäubung im Vergleich mit Selbstbestäubung meist zu lebenskräftigeren Nachkommen führt. Des Weiteren vermerkte er, dass in einer Reihe von Fällen Selbstbestäubung zu einer Uniformität der Nachkommen führte, Fremdbestäubung dagegen die Entstehung von Varianten in großem Umfang förderte.

6. *"The different forms of flowers on plants of the same species" (1877)*

In diesem Buch widmet sich Darwin der Heteromorphie von Blüten derselben Art. Er sah hier, in Fortsetzung der Abhandlung über

Kreuz- und Selbstbestäubung, den Mechanismus zu einer festgelegten Fremdbestäubung. Die auffälligste Form der Verschiedenheit von Blüten, die Heterostylie, bei der sich die Blüten durch die Länge der Griffel und die Staubblattpositionen unterscheiden, war bereits vor Darwin bekannt, aber nicht systematisch untersucht worden. Erst Darwin formulierte, kombiniert mit präzisen Untersuchungsmethoden, alle prinzipiellen Überlegungen zu diesem Phänomen. Des Weiteren zeigte er, dass außer einer konstruktiven Verschiedenheit der Blüten auch ein Inkompatibilitäts-System existiert. In der Selbstinkompatibilität, der strikten Vermeidung der erfolgreichen Bestäubung mit Pollen des gleichen Individuums, sah Darwin konsequenterweise eine Vorstufe der Ausbildung von monözischen Pflanzen (bei denen eingeschlechtliche Blüten auf demselben Individuum vorkommen). Durch eigene Kreuzungsexperimente stellte er fest, dass nur eine wechselseitige Bestäubung zum Samenansatz führte, anderenfalls blieb die Fruchtbildung aus. Darwin nannte die erfolgreiche wechselseitige Bestäubung „legitim“, die Bestäubung zwischen gleichen Formen „illegitim“. Außerdem befasste er sich mit dem Phänomen der Kleistogamie, einer Form der gezielten Selbstbestäubung in geschlossenen Blüten.

7. *"The power of movement in plants" (1880)*

Im letzten Band der botanischen Werke wandte sich Darwin noch einmal den Bewegungen der Pflanzen zu. Das Thema ließ ihn seit seinen Versuchen mit Kletterpflanzen (1865) nicht mehr los. Dieses Buch befasst sich mit einer Vielzahl von Anpassungen bei Pflanzen wie Berührungsempfindlichkeit, Phototropismus, Geotropismus, Kletterbewegungen oder Schlafbewegungen. Darwin will den Nachweis erbringen, dass diese verschiedenen Bewegungsarten, die durch Licht, Schwerkraft und andere Reize bewirkt werden, alle auf eine ertümliche Grundbewegung, die er Circumnutation nannte, zurückgeführt werden können und unter anderem als evolutive Modifikation der Fähigkeit von Pflanzen, dem Sonnenstand zu folgen, aufzufassen sind.

**Forschungsschwerpunkt
Populationsgenetik und Ökologie von
Drosera-Arten in Schleswig-Holstein**

Die Gattung *Drosera*, der Sonnentau, wurde für Darwin die Pflanze, die seine größte Aufmerksamkeit in seinem ganzen Leben erhielt. Insbesondere die Grundlagen der Physiologie der Lebensvorgänge wurden von ihm bereits vollständig beobachtet. Trotz der Arbeiten Gregor Mendels (die er zwar als Sonderdruck besaß, aber nicht gelesen hatte), aber auch aufgrund der allgemeinen zeitbedingten Unkenntnis über genetische Prozesse, konnte Darwin jedoch keine Aussagen über die qualitativen Folgen der beobachteten Reproduktionsbiologie für die Strukturierung natürlicher Populationen ableiten. Unser Forschungsschwerpunkt befasst sich mit dieser Lücke in Darwins Wissen und untersucht die Populationsstruktur ausgewählter *Drosera*-Bestände in Schleswig-Holstein, und leitet aus den Ergebnissen naturschutzfachliche Handlungsanweisungen und Bewertungen zur populationsbiologischen Situation des Sonnentaus ab. Gefördert wird

dieses Projekt bzw. dieser Forschungsschwerpunkt „Darwins Pflanzen“ durch die Johannes-Hübner-Stiftung Gießen.

Nachfolgend soll in knapper Form über die bisherigen Ergebnisse berichtet werden. Dies sind besonders die Nachweise einheimischer *Drosera*-Arten in Schleswig-Holstein (1.), sowie deren Hybride (2.), populationsgenetische Untersuchungen der lokal adaptierten Genotypen der verschiedenen Arten des Festlandes (3.), und der lokal adaptierten Genotypen der Amrumer Population (4.).

*1. Nachweis einheimischer Drosera-Arten
in Schleswig-Holstein*

Eine der faszinierendsten Erscheinungen der einheimischen, karnivoren Pflanzenwelt ist die Gattung *Drosera* (Sonnentau). Charakteristisch für alle Arten der Gattung *Drosera* sind die auf der Oberseite und am Rand ihrer Laubblätter sitzenden (sessilen) Drüsen sowie deren reizbare, krümmungsfähige, gestielte Drüsen (Tentakeln). Sessile, sitzende Drüsen dienen der Produktion von Verdauungsssekreten sowie der

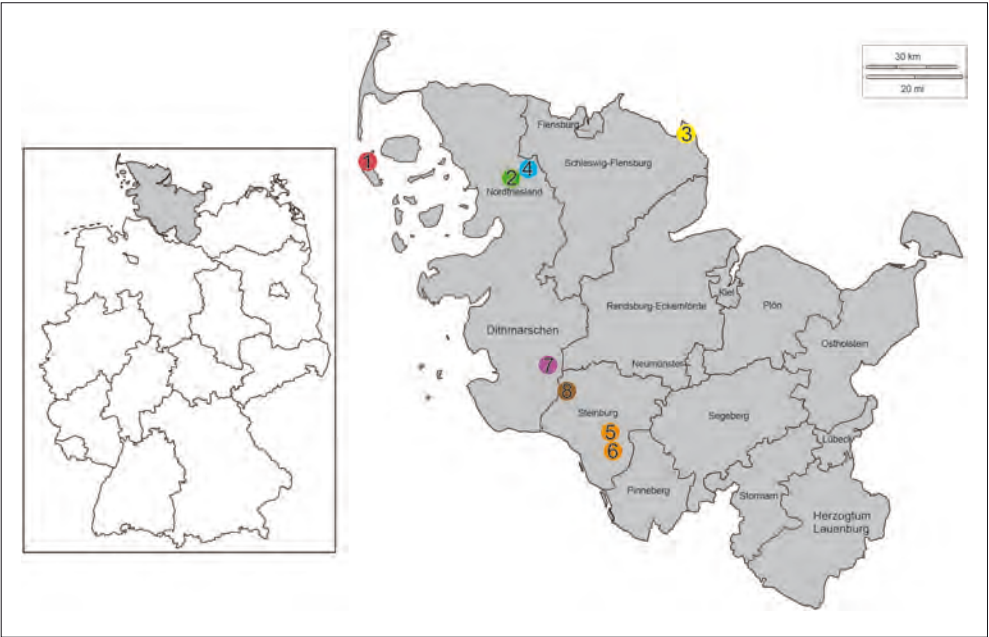


Abb. 2: Standorte in Schleswig-Holstein. Übersicht

Resorption von Verdauungsprodukten. Die Gattung *Drosera* besteht aus 194 Arten, von denen die meisten in der südlichen Hemisphäre, vor allem in Australien und Neuseeland, vorkommen.

Nahezu alle Arten kommen auf relativ nährstoffarmen sauren Böden vor, für gewöhnlich in Mooren. Moore sind einzigartige Relikte einer Vegetationsgeschichte, die vor rund 11.000 Jahren mit dem Ende der Eiszeit begann. Seit Jahrhunderten werden sie von Menschen genutzt. Viele Moore wurden drainiert, um sie in landwirtschaftliche Flächen umzuwandeln. Daneben ist Torf weiterhin ein wichtiger Rohstoff, der in früheren Zeiten als Heizmaterial und heutzutage vermehrt als Pflanzensubstrat im Gartenbau genutzt wird. Aufgrund der Zerstörung, Veränderung sowie der Fragmentierung der Lebensräume „Moore“ sind viele hoch spezialisierte Arten wie z. B. *Drosera rotundifolia* in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen. Anlass für genetische Untersuchungen ist die Isolation kleiner Populationen. Sowohl Isolation als auch geringe Populationsgrößen wirken sich auf Diasporen-

produktion, Keimraten und Wüchsigkeit der Pflanzen aus. Kleine Populationsgrößen und hoher Isolationsgrad, d.h. geringer Genfluss, können die genetische Konstitution einer Population folgendermaßen beeinflussen: Einerseits verursacht genetische Drift einen Verlust genetischer Variabilität. Dies kann kurzfristig die Anfälligkeit gegenüber Pathogenen erhöhen. Andererseits führt verringerte genetische Variabilität auch vermehrt zu Inzucht. Als Folge von Inzuchtdepression reduziert sich häufig die Vitalität einer Population. Eine geringe genetische Diversität verringert das Potenzial der evolutionären Anpassung und gefährdet so den Fortbestand der Population.

In Deutschland sind drei Arten beheimatet: *Drosera rotundifolia*, der Rundblättrige Sonnentau, *Drosera intermedia*, der Mittlere Sonnentau, und *Drosera anglica*, der Langblättrige Sonnentau. Daneben sind zwei Hybride bekannt: Zum einen *Drosera x obovata* (*D. rotundifolia* & *D. anglica*) sowie *Drosera x beleziana* (*D. rotundifolia* & *D. intermedia*). Die beiden in Schleswig-Holstein vorkommenden Sonnentauarten, *D. rotundifolia* und *D. intermedia*,



Abb. 3: *Drosera intermedia* Schleswig-Holstein

gehören mittlerweile zu den besonders geschützten Arten nach der Bundesartenschutzverordnung. Daneben wird die dritte einheimische *Drosera*-Art, der Langblättrige Sonnentau (*Drosera anglica* = *Drosera longifolia*) nach Erkenntnissen von Mierwald & Romahn (2006) sogar unter dem Gefährdungsgrad 0 als ausgestorben oder verschollen eingestuft (Rote Liste 2006).

Im Rahmen einer Studie wurden insgesamt sieben Standorte im Mai 2013 mit etablierten Populationen der Gattung *Drosera* aus Hoch- und Niedermooren in Schleswig-Holstein für die morphologische, durchflusszytometrische sowie genetische Analyse besammelt. Für die morphologischen Untersuchungen wurde frisches Blattmaterial von 51 *D.-rotundifolia*- und 45 *D.-intermedia*-Individuen verwendet, welche der Artdifferenzierung dienten. *D. rotundifolia* weist eine kreisrunde Blattspreite auf, die sich abrupt in den haarigen Stiel verjüngt. Die Blattspreite von *D. intermedia* hingegen ist länglich bis spatelig und verschmälert sich allmählich in den kahlen Stiel. Die morphologischen Unterschiede zwischen beiden Arten sind eindeutig. Die Genomgröße wurde von fünf *D.-rotundifolia*- und drei *D.-intermedia*-Populationen gemessen. Beide untersuchten Arten besitzen ein sehr kleines Genom (*D. rotundifolia* 1C: 0.91 pg; *D. intermedia* 1C: 1.02 pg). Die morphologischen Untersuchungen zeigen, dass artspezifische Merkmale nicht sehr variabel sind und laut Enke et al. (2011) die Genomgröße einer Art meist konstant ist. Beide Analysen unterstützen die deutliche Differenzierung beider Arten.

2. Nachweis einheimischer *Drosera*-Hybriden in Schleswig-Holstein

Zum Status und Gefährdungsgrad in Deutschland und den jeweiligen Bundesländern liegen bisher keine Angaben sowie Bewertungen der beiden Hybriden *D. x obovata* Mert. et Koch und *D. x beleziana* Camus auf der „Floraweb“-Internetseite des Bundesamtes für Naturschutz vor (Bundesamt für Naturschutz 2014). In Schleswig-Holstein gilt der Hybrid *D. x obovata* der beiden Elternarten *Drosera anglica* x *D. ro-*

tundifolia nach Erkenntnissen von Mierwald & Romahn (2006) unter dem Gefährdungsgrad 0 als ausgestorben oder verschollen (Rote Liste 2006). Zum Status und Gefährdungsgrad des Hybriden *D. x beleziana* (*D. intermedia* x *D. rotundifolia*) in Schleswig-Holstein liegen bislang keine Informationen vor (Mierwald & Romahn 2006). Im Rahmen unserer Untersuchungen konnten an den sieben Standorten in Schleswig-Holstein diese ebenfalls nicht detektiert werden. Hier wird eine flächendeckende Untersuchung Schleswig-Holsteins empfohlen, um eine genaue Aussage zum Status beider Hybride zu treffen.

3. Populationsgenetische Untersuchungen der lokal adaptierten Genotypen der verschiedenen *Drosera*-Arten des Festlandes

Genetische Diversität ist Teil der biologischen Vielfalt und entsteht durch genetische Differenzierung von Taxa als Ergebnis der fortwährenden evolutiven Anpassung von Organismen an ökologische, klimatische und edaphische Faktoren durch Evolutionsfaktoren wie z.B. Mutation, Hybridisierung und Selektion (Seitz et al. 2007). Durch sexuelle Fortpflanzung wird jedoch die genetische Diversität zwischen sich paarenden Organismen immer wieder angeglichen und differenziert sich von nicht-kreuzenden Organismen, so dass genetische Diversität im Verlauf der Evolution zur Clusterbildung auf allen taxonomischen Ebenen führt. Auch innerhalb eines Taxons können sich in unterschiedlichen Regionen unterschiedliche Genotypen entwickeln und manifestieren, so dass genetische Unterschiede innerhalb und zwischen Populationen und Arten, Selektionsprozessen oder Hybridisierungsereignissen unterliegen.

Die genetische Vielfalt von Populationen und Arten ist mit molekularen Methoden, wie der hochauflösenden Fingerprint-Methode ISSR (Inter-Simple-Sequence-Repeat), die in dieser Studie angewandt wurde, feststellbar. Hierbei handelt es sich um eine PCR-basierende Methode, welche amplifizierende DNA-Segmente zwischen zwei identischen SSR-Regionen (Sim-

ple Sequence Repeats) verschiedener Individuen miteinander vergleicht (Reddy et al. 2002). Es handelt sich hierbei um eine Fingerprint-Analyse, bei der, wie bei AFLP(Amplified Fragment Length Polymorphism)- und RAPD(Random Amplified Polymorphic DNA)-Analyse, Längenpolymorphismen detektiert und analysiert werden (Meimberg 2002). Dabei wird davon ausgegangen, dass Individuen, die ähnliche genetische Muster aufweisen, evolutiv ähnlicher sind. Da in der Regel die Kern-DNA untersucht wird und hier auch der Phänotyp einer Pflanze kodiert ist, repräsentieren genetische Ähnlichkeiten häufig morphologische Ähnlichkeiten, falls keine konvergente Evolution stattgefunden hat.

Für die populationsgenetische Untersuchung wurde frisches Blattmaterial von insgesamt 75 Individuen verwendet. Die darauf folgende DNA-Isolation fand nach dem Extraktionsprotokoll von Biteau et al. (2011) statt. Die gewonnene, einzelsträngige cDNA diente als Template für die ISSR-PCR. Das Prinzip dieser molekulargenetischen Technik Inter Simple Sequence Repeat-PCR (ISSR-PCR), beruht auf der Amplifikation der zwischen zwei Mikrosatelliten liegenden Bereiche (SSR, Single Sequence Repeats). Mikrosatelliten sind kurze, nicht kodierende DNA-Sequenzen, die sich mehrfach wiederholen und gleichmäßig im Genom verteilt sind (Tautz & Renz 1984). Für diese Methode wurden 16–25 bp (Basenpaar) große Mikrosatelliten, die als Primer in einer Single-Primer PCR dienen, verwendet (Reddy et al. 2002). Nach erfolgreicher Amplifikation wurden die PCR-Produkte (Polymerase chain reaction) auf ein 1%iges Agarosegel aufgetragen. Abschließend wurden die Banden im Gel der untersuchten Individuen auf Intensität und Abfolge verglichen, Fragmente im Bereich von 200 bis 2000 bp ausgewertet und manuell eine Datenmatrix der Allele/Merkmale erstellt (0/1-Matrix). Anwesende Allele (amplifizierte) wurden mit einer 1, abwesende Allele (nicht amplifizierte), mit einer 0 markiert. Die Matrix wurde im PAUP-Format exportiert und eine Neighbor-Joining(NJ)-Analyse mit dem Programm PAUP* 4.0b10 (Swofford, 2002) für Microsoft Windows™ durchgeführt und mittels Splits Tree4 ein Phänogramm ermit-

telt. Insgesamt wurden 75 Individuen in die Analyse eingeschlossen.

Die molekulargenetischen Datensätze ergaben eine klare Trennung der genetisch variablen *D. rotundifolia*-Populationen und zeigt, dass sich die lokal adaptierten Genotypen der Schleswig-Holsteiner Hoch- und Niedermoore unterscheiden. Ebenfalls bestätigt die Fragmentierung der genetisch variablen *D. intermedia*-Populationen, dass sich die lokal adaptierten Genotypen gegeneinander abgrenzen. Aufgrund der räumlichen Trennung der untersuchten Standorte von mindestens 26 km ist ein Genaustausch zwischen den Populationen pro Art eher unwahrscheinlich. Rong et al. (2010) weisen in ihrer Arbeit darauf hin, dass eine Pollenverbreitung mittels Bestäuber zu 99 % in einer Entfernung von 4,2 km stattfindet. Die Verbreitung mittels Bestäuber über Distanzen von über 20 km ist eher auszuschließen. Eine genetische Veränderung vom ursprünglichen gemeinsamen Genpool hin zu isolierten, sehr variablen lokalen Genotypen aufgrund der Nutzung bzw. Zerstörung und Fragmentierung der Moore seit einigen Jahrhunderten ist eher auszuschließen. Der Zeitraum ist dafür zu kurz. Dies hängt eher mit der Reproduktionsbiologie der Gattung *Drosera* zusammen. Selbstbestäubung ist bei den mitteleuropäischen *Drosera*-Arten die Regel (Schäfflein 1961). Die Blüten der Gattung *Drosera*, so auch die der einheimischen Arten *D. intermedia* und *D. rotundifolia*, öffnen sich nur selten und für kurze Zeit. Aufgrund dessen streuen diese nur wenig Pollen aus. Eine Verbreitung mittels Bestäuber ist somit nur bedingt möglich. Laut Schäfflein (1961) sind die Samen der oben genannten *Drosera*-Arten sehr klein und leicht. Diese winzigen Diasporen scheinen vor allem wegen ihres geringen Gewichtes sowie ballonähnlichen Strukturen, d. h. mit einer losen Hülle oder luftgefüllten Hohlräume, an Windverbreitung angepasst zu sein (Bonn und Poschlod 1998). Durch vertikale Luftbewegung gelangen die Diasporen leicht in höhere Luftschichten, wo sie sehr große Distanzen zurücklegen können (Bonn und Poschlod 1998). Selbst wenn dies erfolgt, ist eine Keimung nicht gewährleistet. Nach Schäfflein (1961) sind beide Arten ausgespro-

chene Lichtfrostkeimer; am leichtesten keimt *D. rotundifolia*, am schwersten *D. intermedia*. Dies erklärt die unterschiedliche Verbreitung beider Arten (Schäftlein 1961). Daneben ist eine Trennung der nördlich vorkommenden *D. intermedia*-Populationen von den südlichen Populationen Schleswig-Holsteins zu beobachten. Um klare Aussagen über diese Fragmentierung zu treffen, sollten in Schleswig-Holstein flächendeckend *D. intermedia*-Populationen besammelt werden.

4. Populationsgenetische Untersuchungen der lokal adaptierten Genotypen der Amrumer Population

Ein weiteres Ziel unserer Studie war es herauszufinden, ob sich die lokalen *D. rotundifolia*- sowie *D. intermedia*-Populationen des Festlandes von der Amrumer *Drosera*-Population abgrenzen. Die Ergebnisse der morphologischen und molekulargenetischen Datensätze bestätigen ebenfalls, dass sich die lokalen *D. rotundifolia*-Populationen des Festlandes von der Amrumer *D. rotundifolia*-Population abgrenzen. *D. intermedia* wurde auf Amrum nicht gefunden, aufgrund dessen nicht beantwortet werden konnte, ob sich der Genotyp des Festlandes von der Amrumer Dünenpopulation unterscheidet. Laut Thum (1988) sind manche Pflanzen von *D. rotundifolia* bedroht, von schnellwüchsigem Sphagnum (Torfmoos) überwachsen und so vom Licht abgeschnitten zu werden. So auch die untersuchte Population „Amrum“. Diese Art ist jedoch im Stande, mit Sphagnum-Arten zu konkurrieren. Einerseits indem sie längere Internodien sowie längere Blattstiele bildet, um die Oberfläche des Moosrasens zu erreichen. Die untersuchten Blattstiellängen der Individuen Amrums bestätigen dies und grenzen aufgrund dessen diese Population von den restlichen Festland-Populationen ab.

Fazit

Karnivore Pflanzen stellen die gewohnte Nahrungskette quasi auf den Kopf, indem sie lebende Tiere fangen, verdauen und aufnehmen,

um sich mit Mineralstoffen zu versorgen. Die hoch spezialisierten Fangorgane hatten bereits früh das Interesse der botanischen Forschung auf sich gezogen, der Mehrheit der Wissenschaftler erschien jedoch die Vorstellung von Pflanzen, die Tiere fangen, zu phantastisch, um wahr zu sein (Adlassnig et al. 2009). 1860 beobachtete Charles Darwin erstmals den Insektenfangenden Sonnentau (*Drosera rotundifolia*). Trotz anfänglicher Zweifel begann er eine umfassende Serie von Experimenten, die er 15 Jahre später in seinem Buch „Insectivorous Plants“ veröffentlichte. Er befasste sich weniger mit dem Fang von Tieren als mit den Reaktionen der Pflanzen. Insbesondere die Grundlagen der Physiologie der Lebensvorgänge wurden von ihm bereits vollständig beobachtet. Trotz der Arbeiten Gregor Mendels, aber auch aufgrund der allgemeinen zeitbedingten Unkenntnis über genetische Prozesse, konnte Darwin jedoch keine Aussagen über die qualitativen Folgen der beobachteten Reproduktionsbiologie für die Strukturierung natürlicher Populationen ableiten. Dieser Beitrag befasst sich mit dieser Wissenslücke Darwins und untersucht speziell mit populationsgenetischen Untersuchungen die carnivoren Sonnentauarten Schleswig-Holsteins. Aufgrund der Fragmentierung der Standorte kam es zur Bildung lokaler Rassen, die im Einzelnen geschützt werden sollten. Aufgrund dessen wird empfohlen, nur Ansalbung (künstliche Ansiedlungen) mit dem lokalen Genotyp vorzunehmen. Von Durchmischungen unterschiedlicher Standorte wird abgeraten.

Die Populationsgenetik spielt eine wichtige Rolle bei Schutz und Management bedrohter Arten (Bachmann 2006). Eine hohe genetische Diversität innerhalb von Arten und Einzelpopulationen wird als Voraussetzung für die Anpassung an variable Umweltbedingungen, für die langfristige Evolutionsfähigkeit einer Art sowie für eine höhere Fitness von Individuen oder Populationen betrachtet. Kleine Populationsgrößen und hoher Isolationsgrad können die genetische Konstitution einer Population beeinflussen. Zum einen führt dies zur genetischen Drift, die einen Verlust genetischer Variabilität verursacht (Bachmann 2006). Kurz-

fristig kann dies die Anfälligkeit gegenüber Pathogenen erhöhen. Andererseits führt verringerte genetische Variabilität auch vermehrt zu Inzucht. Als Folge von Inzuchtdepression reduziert sich häufig die Vitalität einer Population (Bachmann 2006). Eine geringere genetische Diversität verringert das Potenzial der evolutionären Anpassung und gefährdet so den Fortbestand einer Population. Durch die Fixierung und Ansammlung leicht schädlicher Mutationen in kleineren Populationen kommt es zu einer Reduktion der Fitness einzelner Pflanzen. Der Erhalt der biologischen Vielfalt, wozu auch die genetische Vielfalt zählt, ist eines der wichtigsten Ziele des Naturschutzes und demnach schützenswert. Gegen die Fragmentierung, Eutrophierung und Entwässerung der Standorte anzugehen ist schwierig, aber essenziell für die langfristige Erhaltung vieler hoch spezialisierter, gefährdeter Arten. Allgemein gilt daher, dass um Bestände stark gefährdeter Arten entlastende Schutz- und Pufferstreifen eingerichtet werden müssen, um negative Einflüsse der Landwirtschaft abzumildern (Romahn et. al. 2007). Dies gilt in besonderem Maße für solche Arten, für die das Land Schleswig-Holstein eine besondere Verantwortung trägt. So auch für die beiden einheimischen Sonnentauarten, *D. rotundifolia* und *D. intermedia*.

Literatur:

Adlassnig, W., Lendl, T., Peroutka, M., und Lichtscheidl, I. K. (2009). In: Stöcklin, J., und Höxtermann, E.: Darwin und die Botanik. Beiträge eines Symposiums der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft und der Basler Botanischen Gesellschaft zum Darwin-Jahr 2009, Basiliken-Presse, Rangsdorf 2009, pp. 103–130.

Bachmann, U. (2006): Die Gefährdung der Knäuel-Glockenblume *Campanula Glomerata* L. in Deutschland. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg: 72 S.

Biteau, F., Nisse, E., Hehn, E., Miquel, S., Hannewald, P., Bourgaud, F. (2011): A Rapid and Efficient Method for Isolating High Quality DNA from Leaves of Carnivorous Plants from the *Drosera* Genus. *Mol Biotechnol* (2012) 51: 247–253.

Bonn, S., Poschlod, P. (1998): Ausbreitungs-Biologie der Pflanzen Mitteleuropas. Grundlagen und kulturhistorische Aspekte. Quelle & Meyer Verlag: 404 S.

Braam, J. (2005): In touch. Plant responses to mechanical stimuli. *New Phytologist* 165, pp. 373–389.

Enke, N., Fuchs, J., Gemeinholzer, B. (2011): Skinking genomes? Evidence from genome size variation in *Crepis* (Compositae). *Plant Biology* 13: 185–193.

Grau, J. (2009): Darwins Weg zur Botanik. In: Stöcklin, J., und Höxtermann, E.: Darwin und die Botanik. Beiträge eines Symposiums der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft und der Basler Botanischen Gesellschaft zum Darwin-Jahr 2009, Basiliken-Presse, Rangsdorf, pp. 37–59.

Heberer, G., und Schwanitz, F. (1960): Hundert Jahre Evolutionsforschung. Das wissenschaftliche Vermächtnis. Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart, pp. 169–185.

Meimberg, H. (2002): Molekular-Systematische Untersuchungen an den Familien Nepenthaceae und Ancistrocladaceae sowie verwandter Taxa aus der Unterklasse Caryophyllidae s. l. Ludwig-Maximilians-Universität München, Dissertation: 260 S.

Mierwald, U., Romahn, K. (2006): Die Farn- und Blütenpflanzen Schleswig-Holsteins. – Rote Liste, 4. Fassung, Band 1. – Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, 122 S., Flintbek.

Reddy, M. P., Sarla, N., Siddiq, E. A. (2002): Inter simple sequence repeat (ISSR) polymorphism and its application on plant breeding. *Euphytica* 128: 9–17.

Rong, J., Janson, S., Umehara, M., Ono, M., Vrieling, K. (2010): Historical and contemporary gene dispersal in wild carrot (*Daucus carota* ssp. *carota*) populations. *Annals of Botany* 106: 285–296.

Schäfflein, H. (1961): Droseraceae. In: Hegi: Illustrierte Flora von Mitteleuropa, Band IV, 2. Teil, herausgegeben von Dr. Herbert Huber. Carl Hanser Verlag, München.

Schneckenberger, S. (2009): Darwin und die Blütenbiologie. Beiträge eines Symposiums der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft und der Basler Botanischen Gesellschaft zum Darwin-Jahr 2009, Basiliken-Presse, Rangsdorf 2009, pp. 77–107.

Seitz, B., Jürgens, A., Kowarik, I. (2007): Erhaltung genetischer Vielfalt: Kriterien für die Zertifizierung regionalen Saat- und Pflanzgutes. – BfN-Skripten 208: 48 S.

Stöcklin, J., Höxtermann, E. (2009): Darwin und die Botanik. Beiträge eines Symposiums der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft und der Basler Botanischen Gesellschaft zum Darwin-Jahr 2009, Basiliken-Presse, Rangsdorf 2009, pp. 7–10.

Swofford, D. L. (2002) PAUP*: Phylogenetic Analysis Using Parsimony (*and Other Methods). Version 4. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Tautz, D., Renz, M. (1984): Simple sequences are ubiquitous repetitive components of eukaryotic genomes. *Nucleic Acids Research*, Vol. 12, No. 10: 4127–4138.

Wuketits, F. M. (2005): Darwin und der Darwinismus, C. H. Beck Verlag, München, 73–78.

Kontakt:

Prof. Dr. Volker Wissemann
M. Sc. Stefanie Eschenbrenner
Institut für Botanik
AG Spezielle Botanik
Fachbereich Biologie und Chemie (FB 08)
Volker.Wissemann@bot1.bio.uni-giessen.de
Stefanie.Eschenbrenner@bot1.bio.uni-giessen.de